

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi dan Sistematika Sukun

Tanaman sukun (*Artocarpus altilis* Park.) dapat digolongkan menjadi sukun yang berbiji disebut *breadnut* dan yang tanpa biji disebut *breadfruit*. Sukun tergolong tanaman tropik sejati, tumbuh paling baik di dataran rendah yang panas. Tanaman ini tumbuh baik di daerah basah, tetapi juga dapat tumbuh di daerah yang sangat kering asalkan ada air tanah dan aerasi tanah yang cukup. Sukun bahkan dapat tumbuh baik di pulau karang dan di pantai. Di musim kering, di saat tanaman lain tidak dapat atau merosot produksinya, justru sukun dapat tumbuh dan berbuah dengan lebat (Koswara, 2006). Gambar penampakan pohon lengkap secara utuh dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.

Menurut Anonim (2010a), kedudukan taksonomi tanaman sukun adalah sebagai berikut :

Kerajaan	: Plantae
Filum	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Bangsa	: Rosales
Keluarga	: Moraceae
Suku	: <i>Artocarpus</i>
Spesies	: <i>Artocarpus altilis</i> Park.



Gambar 1. Pohon Sukun (Sumber : Anonim, 2010c)

Sukun merupakan tanaman tahunan yang tumbuh baik pada lahan kering (daratan), dengan tinggi pohon dapat mencapai 10 m atau lebih dan mempunyai cabang-cabang yang melebar ke samping dengan tajuk sekitar 5 meter. Pohon sukun membentuk percabangan mulai dari ketinggian sekitar 1,5 meter dari tanah. Daunnya berbentuk oval panjang dengan belahan daun simetris yang ditunjang dengan tulang daun yang menyirip simetris pula. Panjang daun dapat mencapai 60 cm dan lebar 45 cm. Ujung daun meruncing, tepi daun bercangap menyirip, kadang-kadang siripnya bercabang. Permukaan daun bagian atas halus dan berwarna hijau mengkilap sedang bagian bawah kasar berbulu dan berwarna kusam (Direktorat Jendral Bina Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, 2003). Gambar daun sukun dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk daun sukun (Sumber : Anonim, 2010c)

Buah sukun berbentuk bulat atau agak lonjong dengan diameter kurang lebih 25 cm. Warna kulit buah hijau muda sampai kekuning-kuningan. Ketebalan kulit antara 1-2 mm. Buah muda berkulit kasar dan buah tua berkulit halus. Daging buah berwarna putih agak krem, teksturnya kompak dan berserat halus. Rasanya agak manis dan memiliki aroma yang spesifik. Tangkai buah sekitar 5 cm. Berat buah sukun dapat mencapai 1 kg per buah (Direktorat Jendral Bina Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, 2003). Buah sukun secara utuh dapat dilihat pada Gambar 3 sementara penampakan dalam buah sukun dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Buah Sukun (Sumber : Anonim, 2010c)

Gambar 4. Buah Sukun Tampak Dalam (Sumber : Anonim, 2010c)

Pembentukan buah sukun tidak didahului dengan proses pembuahan bakal biji (*partheno carpie*), maka buah sukun tidak memiliki biji. Pada mulanya kulit memiliki kulit yang kasar mirip duri (*spina*), selanjutnya kulit seolah tertarik dan terbentang sehingga berbekas seperti gambar heksagonal dengan titik di tengahnya, dan kulit menjadi halus (Direktorat Jendral Bina Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, 2003).

Buah sukun akan menjadi tua setelah tiga bulan sejak munculnya bunga betina. Buah yang muncul awal akan menjadi tua lebih dahulu, kemudian diikuti oleh buah berikutnya. Musim panen buah sukun umumnya adalah pada bulan Januari-Februari dan pada bulan Juli-Agustus (Direktorat Jendral Bina Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian 2003).

B. Cara Penanaman Sukun

Tanaman sukun dapat tumbuh dan dibudidayakan pada berbagai jenis tanah mulai dari tepi pantai sampai pada lahan dengan ketinggian kurang lebih 600 m dari permukaan laut. Sukun juga toleran terhadap curah hujan yang sedikit maupun curah hujan yang tinggi antara 80 – 100 inchi per pertahun dengan kelembaban 60 – 80%, namun lebih sesuai pada daerah-daerah yang cukup banyak mendapat penyinaran matahari. Tanaman sukun tumbuh baik di tempat yang lembab panas, dengan temperatur antara 15 – 38 °C. Tanaman sukun ditanam di tanah yang subur, dalam dan drainase yang baik, tetapi beberapa varietas tanpa biji dapat tumbuh baik di tanah berpasir (Direktorat Jendral Bina Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, 2003).

C. Manfaat dan Khasiat Sukun

Menurut Direktorat Jendral Bina Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian (2003), bagian-bagian dari tanaman sukun sangat bermanfaat bagi kehidupan kita diantaranya :

1. Buahnya dapat digunakan sebagai bahan makanan.
2. Jaman dahulu di Hawaii sukun digunakan sebagai makanan pokok. Di Madura digunakan sebagai obat sakit kuning.
3. Di Melanesia dan New Guinea bijinya dapat disangrai atau direbus seperti chestnut.
4. Bunganya dapat di ramu sebagai obat. Bunganya dapat menyembuhkan saki gigi dengan cara dipanggang lalu digosokkan pada gusi yang giginya sakit.
5. Daunnya selain untuk pakan ternak, juga dapat diramu menjadi obat. Di India bagian barat, ramuan daunnya dipercaya dapat menurunkan tekanan darah dan meringankan asma. Daun yang dihancurkan diletakkan di lidah untuk mengobati sariawan. Juice daun digunakan untuk obat tetes telinga. Abu daun digunakan untuk infeksi kulit. Bubuk dari daun yang dipanggang digunakan untuk mengobati limpa yang membengkak.
6. Getah tanaman digunakan untuk mengobati penyakit kulit. Getah yang ditambah air jika diminum dapat mengobati diare. Di Karibia sebagai bahan membuat permen karet.

7. Kayu sukun tidak terlalu keras tapi kuat, elastis dan tahan rayap, digunakan sebagai bahan bangunan antara lain mebel, partisi interior, papan selancar dan peralatan rumah tangga lainnya.
8. Serat kulit kayu bagian dalam dari tanaman muda dan ranting dapat digunakan sebagai material serat pakaian. Di Malaysia digunakan sebagai mode pakaian.

D. Kandungan Gizi Sukun

Buah sukun mengandung berbagai jenis zat gizi utama yaitu karbohidrat 25 %, protein 1,5 % dan lemak 0,3 % dari berat buah sukun (Direktorat Jendral Bina Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, 2003). Selain itu buah sukun juga banyak mengandung unsur-unsur mineral serta vitamin yang sangat dibutuhkan oleh tubuh. Unsur-unsur mineral yang terkandung dalam buah sukun antara lain adalah Kalsium (Ca), Fosfor (P) dan Zat besi (Fe), sedangkan vitamin yang menonjol antara lain adalah vitamin B1, B2 dan vitamin C. Kandungan air dalam buah sukun cukup tinggi, yaitu sekitar 69,3 %. Komposisi zat gizi buah sukun dapat dilihat pada Tabel 1 (Direktorat Jendral Bina Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, 2003).

Tabel 1. Komposisi Zat Gizi Sukun per 100 g bahan

Komposisi kimia dan zat gizi buah sukun per 100 gram buah (Considine, 1982) Unsur-unsur	Sukun muda	Sukun masak
Air (g)	87.1	69.1
Kalori (kal)	46	108
Protein (g)	2.0	1.3
Lemak (g)	0.7	0.3
Karbohidrat (g)	9.2	28.2
Kalsium (mg)	59	21
Fosfor (mg)	46	59
Besi (mg)	-	0.4
Vitamin B1 (mg)	0.12	0.12
Vitamin B2 (mg)	0.06	0.06
Vitami C (mg)	21	17
Abu (g)	1.0	0.9
Serat (g)	2.2	-

Sumber: Widayati dan Damayanti, 2000

E. Karakterisasi dan Komposisi Gizi Tepung Sukun

Pemanfaatan tepung sukun menjadi makanan olahan dapat mensubstitusi penggunaan tepung terigu sampai 75 %. Kandungan karbohidrat, mineral, dan vitamin tepung sukun cukup tinggi. Kendala dalam pembuatan tepung sukun adalah terbentuknya warna coklat pada buah saat diolah menjadi tepung. Untuk menghindari terbentuknya warna coklat, bahan harus diusahakan sedikit mungkin kontak dengan udara dengan cara merendam buah yang telah dikupas dalam air bersih, serta menonaktifkan enzim dengan cara dikukus. Lama pengukusan tergantung pada jumlah bahan, berkisar antara 10-20 menit. Tingkat ketuaan buah juga mempengaruhi warna tepung. Buah muda menghasilkan tepung sukun yang berwarna putih kecoklatan. Semakin tua buah, semakin putih warna tepung. Tepung sukun

mengandung 84 % karbohidrat, 9,9 % air, 2,8 % abu, 3,6 %, 7 % protein, dan 0,4 % lemak. Kandungan protein tepung sukun lebih tinggi dibandingkan tepung ubi kayu, ubi jalar, dan tepung pisang (Manoppo, 2012).

Pengukuran kandungan gizi yang terdapat pada tepung sukun juga telah dilakukan oleh Widiasta (2003), dengan hasil diketahui, kadar air 6,67 %, abu 2,69 %, lemak 2,82 %, protein 5,74 %, pati 3,06 %, amilosa 1,43 %, dan karbohidrat 82,51 %. Dari komposisi tersebut sukun sangat berpotensi sebagai bahan pangan sumber karbohidrat.

F. Deskripsi Pati, Amilosa, dan Amilopektin

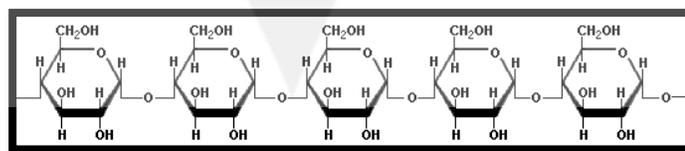
Pati adalah substansi yang paling banyak terdapat di alam sebagai cadangan karbohidrat pada tanaman. Pati dibentuk pada bagian tanaman yang berwarna hijau melalui proses fotosintesis. Pati terdapat pada hampir semua tanaman tingkat tinggi dalam bentuk granula-granula yang tidak larut (Whistler dkk., 1984).

Granula-granula pati merupakan bagian terkecil yang menyusun pati. Granula pati dari berbagai sumber botani menunjukkan bermacam bentuk dan ukuran. Ukuran dari granula pati berpengaruh terhadap besarnya suhu gelatinisasi, yaitu semakin kecil ukuran granula pati maka semakin turun terjadinya suhu gelatinisasi (Meyer, 1960; Kerr, 1950). Granula pati dibentuk oleh 2 macam molekul, yaitu amilosa dan amilopektin dan antara kedua molekul tersebut dihubungkan dengan ikatan glikosida (Miller dan Burns, 1970).

Pati terdiri atas dua komponen yang dapat dipisahkan yaitu amilosa dan amilopektin. Perbandingan amilosa dan amilopektin secara umum adalah 20% dan 80% dari jumlah pati total. Kedua jenis pati ini mudah dibedakan berdasarkan reaksinya terhadap iodium, yaitu amilosa berwarna biru dan amilopektin berwarna kemerahan. Amilosa merupakan rantai panjang unit glukosa yang tidak bercabang sedang amilopektin adalah polimer yang susunannya bercabang-cabang dengan 15-30 unit glukosa pada tiap cabang (Anonim, 2012).

1. Amilosa

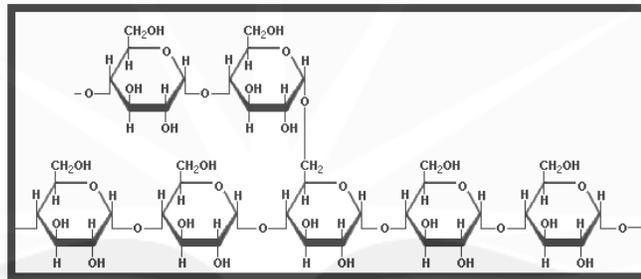
Amilosa merupakan polimer linier yang tersusun atas homoglukan D-glukosa dengan ikatan α -1,4 dari struktur cincin piranosa. Berat molekul amilosa sebesar 300.000 dalton. Amilosa akan membentuk kompleks dengan iodin sehingga menghasilkan warna biru. Sifat amilosa yang lain adalah mudah larut dalam air dan lebih mudah larut dalam butanol karena amilosa lebih mudah bersenyawa dengan alkohol-alkohol organik dan juga dengan asam lemak (Reed, 1975). Ukuran molekul amilosa bervariasi tergantung dengan sumbernya, sehingga suhu gelatinisasi dan derajat polimerisasi air berbeda (Whistler dkk., 1984). Gambar struktur amilosa dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur Kimia Amilosa (Sumber : Whistler dkk., 1984)

2. Amilopektin

Amilopektin merupakan polimer non linier yang mempunyai ikatan α -1,4 pada rantai lurus serta ikatan α -1,6 pada titik percabangan. Berat molekul amilopektin berkisar antara 1-10 juta dalton. Amilopektin dengan ion akan membentuk kompleks berwarna merah. Perbedaan lain dengan amilosa, amilopektin sukar larut dalam air dan tidak akan membentuk kompleks dengan alkohol atau asam lemak (Reed, 1975 dan Whistler dkk., 1984). Gambar struktur amilopektin dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur Kimia Amilopektin (Sumber : Whistler dkk., 1984)

G. Deskripsi dan Klasifikasi Hidrolisis

Gula merupakan kebutuhan pokok bagi manusia, selama ini kebutuhan gula dipenuhi oleh industri gula (penggilingan tebu), industri kecil seperti gula merah, gula aren. Gula dapat berupa glukosa, sukrosa, fruktosa, sakrosa. Gukosa dapat digunakan sebagai pemanis dalam makanan, minuman, dan es krim. Glukosa dibuat dengan jalan fermentasi dan hidrolisa. Pada proses hidrolisa biasanya menggunakan katalisator asam seperti HCl, asam sulfat. Bahan yang digunakan untuk proses

hidrolisis adalah pati. Di Indonesia banyak dijumpai tanaman yang menghasilkan pati. Tanaman-tanaman itu seperti padi, jagung, ketela pohon, umbi-umbian, aren, dan sebagainya (Bastian, 2012).

Hidrolisis merupakan reaksi pengikatan gugus hidroksil / OH oleh suatu senyawa. Gugus OH dapat diperoleh dari senyawa air. Hidrolisis dapat digolongkan menjadi hidrolisis murni, hidrolisis katalis asam, hidrolisis katalis basa, gabungan alkali dengan air dan hidrolisis dengan katalis enzim, sedangkan berdasarkan fase reaksi yang terjadi diklasifikasikan menjadi hidrolisis fase cair dan hidrolisis fase uap (Bastian, 2012).

Hidrolisis pati terjadi antara suatu reaktan pati dengan reaktan air. Reaksi ini adalah orde satu karena reaktan air yang dibuat berlebih, sehingga perubahan reaktan dapat diabaikan. Reaksi hidrolisis pati dapat menggunakan katalisator ion H⁺ yang dapat diambil dari asam. Reaksi yang terjadi pada hidrolisis pati adalah sebagai berikut $(C_6H_{10}O_5)_x + x H_2O \rightarrow x C_6H_{12}O_6$ (Bastian, 2012).

Menurut Bastian (2012) ada beberapa variabel yang berpengaruh terhadap reaksi hidrolisa, antara lain :

1. Katalisator

Hampir semua reaksi hidrolisa memerlukan katalisator untuk mempercepat jalannya reaksi. Katalisator yang dipakai dapat berupa enzim atau asam sebagai katalisator, karena kerjanya lebih cepat. Asam yang dipakai beraneka ragam mulai dari asam klorida, Asam sulfat sampai asam nitrat yang berpengaruh terhadap kecepatan reaksi adalah konsentrasi ion H, bukan jenis asamnya.

Meskipun demikian di dalam industri umumnya dipakai asam klorida. Pemilihan ini didasarkan atas sifat garam yang terbentuk pada penetralan gangguan apa-apa selain rasa asin jika konsentrasinya tinggi. Karena itu konsentrasi asam dalam air penghidrolisa ditekan sekecil mungkin. Umumnya dipergunakan larutan asam yang mempunyai konsentrasi asam lebih tinggi daripada pembuatan sirup. Hidrolisa pada tekanan 1 atm memerlukan asam yang jauh lebih pekat.

2. Suhu dan tekanan

Pengaruh suhu terhadap kecepatan reaksi mengikuti persamaan Arrhenius. makin tinggi suhu, makin cepat jalannya reaksi. Untuk mencapai konversi tertentu diperlukan waktu sekitar 3 jam untuk menghidrolisa pati ketela rambat pada suhu 100°C . tetapi kalau suhunya dinaikkan sampai suhu 135°C , konversi yang sebesar itu dapat dicapai dalam 40 menit. Hidrolisis pati gandum dan jagung dengan katalisator asam sulfat memerlukan suhu 160°C . karena panas reaksi hampir mendekati nol dan reaksi berjalan dalam fase cair maka suhu dan tekanan tidak banyak mempengaruhi keseimbangan.

3. Pencampuran (pengadukan)

Supaya zat pereaksi dapat saling bertumbukan dengan sebaik-baiknya, maka perlu adanya pencampuran. Untuk proses batch, hal ini dapat dicapai dengan bantuan pengaduk atau alat pengocok. Apabila prosesnya berupa proses alir (kontinyu), maka pencampuran dilakukan dengan cara mengatur aliran di dalam reaktor.

4. Perbandingan zat pereaksi

Kalau salah satu zat pereaksi berlebihan jumlahnya maka keseimbangan dapat menggeser ke sebelah kanan dengan baik. Oleh karena itu suspensi pati yang kadarnya rendah memberi hasil yang lebih baik dibandingkan kadar patinya tinggi. Bila kadar suspensi diturunkan dari 40% menjadi 20% atau 1%, maka konversi akan bertambah dari 80% menjadi 87 atau 99%. Pada permukaan kadar suspensi pati yang tinggi sehingga molekul-molekul zat pereaksi akan sulit bergerak. Untuk menghasilkan pati sekitar 20%.

Klasifikasi proses hidrolisa dapat dibagi menjadi 2 (dua) menurut (Bastian, 2012), yaitu:

1. Hidrolisa fase gas, yang berperan sebagai penghidrolisa adalah air dan reaksi berjalan pada fase uap.
2. Hidrolisa fase cair, pada hidrolisa ini ada 4 tipe hidrolisa, yaitu:
 - a) Hidrolisa murni, dimana efek dekomposisinya jarang terjadi, tidak semua bahan terhidrolisa. Efektif digunakan pada reaksi Grigrard dimana air digunakan sebagai penghidrolisa.
 - b) Hidrolisa bahan-bahan berupa anhidrid asam laktan dan laktanida. Hidrolisa senyawa alkyl yang mempunyai komposisi kompleks, hidrolisa asam berair. Pada umumnya dengan HCl dan H₂SO₄, dimana banyak digunakan pada industri bahan pangan, misalkan hidrolisa gluten menjadi monosodium glutamate, hidrolisa pati menjadi glukosa sedangkan H₂SO₄

banyak digunakan pada hidrolisa senyawa organik dimana peranan H_2SO_4 tidak dapat diganti.

- c) Hidrolisa dengan alkali berair, dimana penggunaan konsentrasi alkali yang rendah dalam proses hidrolisa diharapkan ion H^+ bertindak sebagai katalisator sedangkan pada konsentrasi tinggi diharapkan dapat bereaksi dengan asam yang terbentuk.
- d) Hidrolisa dengan enzim, senyawa dapat digunakan untuk mengubah suatu bahan menjadi bahan hidrolisa lain. Hidrolisa ini dapat digunakan pada hidrolisa molase, beer (pati \rightarrow maltosa/glukosa) dengan enzim amilase

Aplikasi hidrolisa Pati banyak digunakan dalam Industri makanan dan minuman menggunakan sirup glukosa hasil hidrolisis pati sebagai pemanis. Produk akhir hidrolisa pati adalah glukosa yang dapat dijadikan bahan baku untuk produksi fruktosa dan sorbitol. Hasil hidrolisis pati juga banyak digunakan dalam industri obat-obatan. Glukosa yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioethanol. Penggunaan asam sebagai penghidrolisa menghasilkan biaya produksi yang sedikit, namun produk yang dihasilkan tidak seragam dan banyak senyawa pati yang rusak oleh asam tersebut, sedangkan penggunaan enzim sebagai penghidrolisa menghasilkan produk yang seragam, lebih terkontrol, namun biaya produksi lebih tinggi karena harga dari enzim sendiri lebih mahal jika dibandingkan dengan asam (Bastian, 2012).

H. Deskripsi Hidrolisis Enzim

Enzim adalah biomolekul berupa protein yang berfungsi sebagai katalis (senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi) dalam suatu reaksi kimia organik. Molekul awal yang disebut substrat akan dipercepat perubahannya menjadi molekul lain yang disebut produk. Jenis produk yang akan dihasilkan bergantung pada suatu kondisi/zat, yang disebut promotor. Semua proses biologis sel memerlukan enzim agar dapat berlangsung dengan cukup cepat dalam suatu arah lintasan metabolisme yang ditentukan oleh hormon sebagai promotor (Bastian, 2012).

Enzim bekerja dengan cara bereaksi dengan molekul substrat untuk menghasilkan senyawa intermediet melalui suatu reaksi kimia organik yang membutuhkan energi aktivasi lebih rendah, sehingga percepatan reaksi kimia terjadi karena reaksi kimia dengan energi aktivasi lebih tinggi membutuhkan waktu lebih lama. Meskipun senyawa katalis dapat berubah pada reaksi awal, pada reaksi akhir molekul katalis akan kembali ke bentuk semula. Sebagian besar enzim bekerja secara khas, yang artinya setiap jenis enzim hanya dapat bekerja pada satu macam senyawa atau reaksi kimia. Hal ini disebabkan perbedaan struktur kimia tiap enzim yang bersifat tetap. Sebagai contoh, enzim α -amilase hanya dapat digunakan pada proses perombakan pati menjadi glukosa (Bastian, 2012).

Kerja enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama adalah substrat, suhu, keasaman, kofaktor dan inhibitor. Tiap enzim memerlukan suhu dan pH (tingkat keasaman) optimum yang berbeda-beda karena enzim adalah protein, yang dapat mengalami perubahan bentuk jika suhu dan keasaman berubah. Di luar suhu atau pH

yang sesuai, enzim tidak dapat bekerja secara optimal atau strukturnya akan mengalami kerusakan. Hal ini akan menyebabkan enzim kehilangan fungsinya sama sekali. Kerja enzim juga dipengaruhi oleh molekul lain. Inhibitor adalah molekul yang menurunkan aktivitas enzim, sedangkan aktivator adalah yang meningkatkan aktivitas enzim. Banyak obat dan racun adalah inhibitor enzim (Bastian, 2012).

Dalam proses hidrolisis pati secara enzimatis, terdapat beberapa enzim penghidrolisis pati yang bekerja spesifik yaitu ikatan glikosidik yang diputus, pola pemutusan, aktivitasnya dan spesifitas substrat serta produk yang dihasilkan. Tingginya keragaman jenis pati dan spesifiknya kerja enzim penghidrolisis pati, maka produk yang dibentuk akan mempunyai komposisi karbohidrat yang beragam (Bastian, 2012).

Modifikasi pada pati juga dapat dilakukan dengan hidrolisis enzim. Hidrolisis pati dengan metode enzimatis. Pada modifikasi pati dengan metode enzimatis ini dapat dilakukan dengan berbagai tahapan yaitu likuifaksi, sakarifikasi dan isomerisasi. Langkah yang pertama adalah likuefaksi 30-40% suspensi padatan untuk menghasilkan maltodekstrin dengan menggunakan enzim α -amilase. Setelah likuifaksi dilakukan sakarifikasi menggunakan enzim glucoamilase atau pullulanase untuk menghasilkan sirup glukosa atau sirup maltosa. Hasil sakarifikasi dilakukan isomerisasi dengan enzim glukosa isomerase untuk menghasilkan sirup fruktosa. Hidrolisis dengan enzim dapat menghasilkan beberapa produk hidrolisat pati dengan sifat-sifat tertentu yang didasarkan pada nilai DE (ekuivalen dekstroza). Nilai DE 100 adalah murni dekstroza sedangkan nilai DE 0 adalah pati alami. Hidrolisat dengan

nilai DE 50 adalah maltosa, nilai DE di bawah 20 adalah maltodekstrin, sedangkan hidrolisat dengan DE berkisar antara 20-100 adalah sirup glukosa. Beberapa jenis enzim yang sering digunakan dalam menghidrolisis pati yaitu: α -amilase, β -amilase, pullunase, dan amiloglukosidase (AMG) yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda satu-sama lainnya (Bastian, 2012).

I. Deskripsi Glukosa

Glukosa, suatu gula monosakarida, adalah salah satu karbohidrat terpenting yang digunakan sebagai sumber tenaga bagi hewan dan tumbuhan. Glukosa merupakan salah satu hasil utama fotosintesis dan awal bagi respirasi. Bentuk alami (D-glukosa) disebut juga dekstrosa, terutama pada industri pangan (Anonim, 2012).

Glukosa ($C_6H_{12}O_6$, berat molekul 180.18) adalah heksosa—monosakarida yang mengandung enam atom karbon. Glukosa merupakan aldehida (mengandung gugus -CHO). Lima karbon dan satu oksigennya membentuk cincin yang disebut “cincin piranosa”, bentuk paling stabil untuk aldosa berkarbon enam. Dalam cincin ini, tiap karbon terikat pada gugus sampinghidroksil dan hidrogen kecuali atom kelimanya, yang terikat pada atom karbon keenam di luar cincin, membentuk suatu gugus CH_2OH . Struktur cincin ini berada dalam kesetimbangan dengan bentuk yang lebih reaktif, yang proporsinya 0.0026% pada pH 7 (Anonim, 2012).

Glukosa merupakan sumber tenaga yang terdapat di mana-mana dalam biologi. Kita dapat menduga alasan mengapa glukosa, dan bukan monosakarida lain seperti fruktosa, begitu banyak digunakan. Glukosa dapat dibentuk

dari formaldehid pada keadaan abiotik, sehingga akan mudah tersedia bagi sistem biokimia primitif. Hal yang lebih penting bagi organisme tingkat atas adalah kecenderungan glukosa, dibandingkan dengan gula heksosa lainnya, yang tidak mudah bereaksi secara nonspesifik dengan gugus amino suatu protein. Reaksi ini (glikosilasi) mereduksi atau bahkan merusak fungsi berbagai enzim. Rendahnya laju glikosilasi ini dikarenakan glukosa yang kebanyakan berada dalam isomer siklik yang kurang reaktif. Meski begitu, komplikasi akut seperti diabetes, kebutaan, gagal ginjal, dan kerusakan saraf perifer (‘‘peripheral neuropathy’’), kemungkinan disebabkan oleh glikosilasi protein (Anonim, 2012).

Dalam respirasi, melalui serangkaian reaksi terkatalisis enzim, glukosa teroksidasi hingga akhirnya membentuk karbon dioksida dan air menghasilkan energy terutama dalam bentuk ATP. Sebelum digunakan, glukosa dipecah dari polisakarida. Glukosa dan fruktosa diikat secara kimiawi menjadi sukrosa. Pati, selulosa, dan glikogen merupakan polimer glukosa umum polisakarida (Anonim, 2012).

J. Deskripsi Sirup Glukosa

Sirup glukosa adalah nama dagang dari larutan hidrolisis pati. Hidrolisis dapat dilakukan dengan bantuan asam atau dengan enzim pada waktu, suhu, dan pH tertentu (Anonim, 2012). Definisi sirup glukosa menurut SNI 01-2978-1992 yaitu cairan kental dan jernih dengan komponen utama glukosa, yang diperoleh dari hidrolisis pati dengan cara kimia atau enzimatik.

Sirup glukosa adalah sirup yang terbuat dari hidrolisis pati . Jagung umumnya digunakan sebagai sumber pati di Amerika Serikat, dalam hal ini sirup disebut ” sirup jagung “, tapi sirup glukosa juga dibuat dari pati tanaman lainnya, termasuk kentang, gandum, barley, padi dan singkong Sirup glukosa yang mengandung lebih dari 90% glukosa digunakan dalam industri fermentasi tetapi sirup digunakan dalam kembang gula pembuatan mengandung berbagai jumlah glukosa , maltosa dan lebih tinggi oligosakarida, tergantung pada kelas, dan biasanya dapat mengandung 10% sampai 43% glukosa. Sirup glukosa digunakan dalam makanan untuk melembutkan tekstur, menambah volume, mencegah kristalisasi gula, dan meningkatkan rasa. Dengan mengubah beberapa glukosa dalam sirup jagung menjadi fruktosa (menggunakan enzimatis proses), produk manis, tinggi fruktosa sirup jagung dapat diproduksi (Anonoim, 2012).

K. Penggunaan Sirup Glukosa dan Pembuatan Sirup Glukosa Secara Enzimatis

Menurut Jacobs (1951), dilihat dari penggunaanya sirup glukosa lebih praktis karena sirup glukosa langsung dapat larut. Sirup glukosa juga dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan alkohol dalam industri fermentasi, untuk pembuatan *jelly* dan selai, serta untuk pembuatan obat dalam industri farmasi (Lutony,1993).

Setelah dikenal enzim, orang mulai menggunakan enzim-enzim penghidrolisis pati untuk membuat sirup glukosa. Penggunaan enzim dinilai dapat meningkatkan kualitas produk karena sirup hasil hidrolisis pati secara kimiawi masih mengandung

kotoran dan memungkinkan terjadinya reaksi samping yang tidak diinginkan (Anugrahati, 1999).

Menurut Dixon dan Webb (1979), enzim berperan sebagai katalisator organik pada suatu reaksi kimia. Enzim yang dapat menghidrolisis pati adalah enzim amilase. Lebih lanjut Palmer (1991), melaporkan bahwa amilase dapat diisolasi dari berbagai sumber seperti tumbuhan, hewan, dan mikrobia.

L. Deskripsi Enzim Amilase

Winarno (1995), menyatakan bahwa amilase dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

- 1) α -amilase yang menghidrolisis pati secara acak dari dalam substrat, sehingga disebut sebagai endoamilase,
- 2) β -amilase yang menghidrolisis tiap dua unit pati dan ujung akhir gugus non reduksi substrat, sehingga disebut eksoamilase, dan
- 3) glukoamilase yang menghidrolisis setiap satu unit pati dari ujung akhir gugus non-reduksi substrat, sehingga juga disebut eksoamilase.

Dalam pembuatan sirup glukosa enzim yang paling sering digunakan adalah α -amilase dan glukoamilase, sedangkan dalam penelitian ini yang digunakan adalah α -amilase dan β -amilase sehingga penjelasan lebih rinci hanya ditujukan pada jenis enzim tersebut.

Menurut Reed (1975) dan Meyer (1960), α -amilase dinamakan *liquifying* atau *dextrogenic amylase* karena aktivitasnya pada pati. Enzim ini terdapat pada jaringan

mamalia, tanaman, dan mikroorganisme. Berat molekul α -amilase sekitar 50 kDa (Schwimmer, 1981).

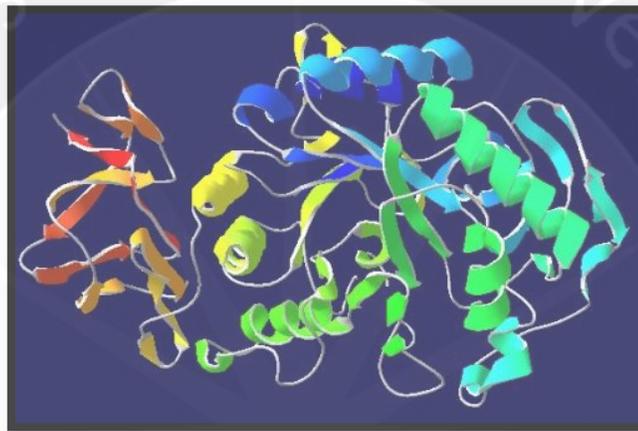
Reed (1975), berpendapat bahwa α -amilase mampu memecah rantai lurus ikatan α -1,4 glikosida pada amilosa dan amilopektin secara acak dari dalam rantai. Akibat hidrolisis dari enzim ini pati dipecah menjadi glukosa, maltosa, maltoriosa, dan dekstrin dengan rantai 6 – 10 unit. Oleh karena sifat pemecahannya dimulai dari tengah maka enzim ini digolongkan dalam endoenzim.

Lebih lanjut Winarno (1995), melaporkan bahwa pemecahan amilosa oleh α -amilase terjadi dua tahap yaitu tahap degradasi secara sempurna dan cepat sehingga dihasilkan maltosa yang terjadi secara acak. Pemecahan tahap pertama ditandai dengan penurunan viskositas yang cepat dan hilangnya kemampuan pewarnaan iod terhadap amilosa. Tahap kedua yaitu degradasi lambat terhadap senyawa oligosakarida sehingga dihasilkan glukosa dan maltosa. Hasil akhir hidrolisis amilosa oleh α -amilase ialah glukosa dan maltosa.

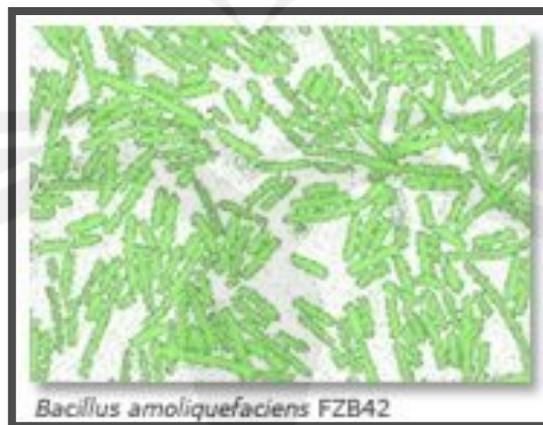
Pemecahan oleh α -amilase terhadap amilopektin dapat menghasilkan limit dekstrin, glukosa, dan maltosa. Hasil pemecahan amilopektin ditandai dengan penurunan viskositas larutan pati (Winarno, 1995).

Setiap molekul enzim α -amilase mengandung satu atom Ca^{2+} yang berperan sebagai penstabil dan membentuk keadaan yang optimal untuk aktivitasnya atau berperan sebagai kofaktor (Rahayu, 1991). Nilai pH optimum untuk aktivitas α -amilase berkisar antara 6,9 – 7,1 (Bastian, 2012).

Menurut Rahayu (1991), pembuatan sirup glukosa sering menggunakan enzim α -amilase yang berasal dari bakteri seperti *Bacillus amyloliquifaciens* karena mempunyai sifat tahan terhadap suhu yang tinggi. Gambar struktur 3D enzim α -amilase dan bakteri *Bacillus amyloliquifaciens* dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Struktur 3D enzim α -amilase (Sumber : Anonim, 2010d)



Gambar 8. Bakteri *Bacillus amyloliquifaciens* (Sumber : Anonim, 2010e)

M. Tahapan Proses Pembuatan Sirup Glukosa Secara Enzimatis

Pembuatan sirup glukosa secara enzimatis terdiri dari 4 tahap yaitu gelatinisasi, likuifikasi, sakarifikasi, dan *refining*. Gelatinisasi adalah peristiwa penggelembungan seluruh granula pati pada kisaran suhu 60 – 70 °C. Proses gelatinisasi dilakukan dengan pemanasan sampai terbentuk gel yang ditandai dengan kenaikan viskositas. Menurut Winarno (1995), penggelembungan pati terjadi apabila energi kinetik molekul-molekul air menjadi lebih kuat daripada daya tarik menarik antar molekul pati di dalam granula, sehingga air dapat masuk ke dalam butir-butir pati.

Gelatinisasi pati dipengaruhi oleh jenis pati, kandungan amilosa, ukuran granula pati, suhu, serta waktu. Suhu gelatinisasi pati tergantung dari konsentrasi pati. Semakin kental larutan, suhu tersebut semakin lambat dicapai. Kisaran suhu gelatinisasi berbeda-beda untuk tiap jenis pati. Winarno (1995), menyatakan bahwa pembentukan gel terjadi pada pH 4,0 – 7,0. Apabila pH terlalu tinggi maka gel akan cepat terbentuk tetapi cepat turun lagi, sedangkan apabila pH terlalu rendah, gel akan lama terbentuk dan apabila pemanasan diteruskan maka viskositas akan menjadi turun kembali.

Tahap gelatinisasi merupakan tahap persiapan agar hidrolisis oleh enzim α -amilase dapat berjalan dengan baik. Menurut Kerr (1950), hal tersebut disebabkan karena proses gelatinisasi menyebabkan terputusnya ikatan hidrogen yang menghubungkan molekul-molekul pati.

Likuifikasi merupakan proses penurunan viskositas pasta pati (pati yang telah tergelatinisasi) menggunakan aktivitas enzim α -amilase pada suhu sekitar 50 - 80 °C. Larutan pati yang digunakan untuk proses likuifikasi antara 30 – 40 % dengan mengatur pH antara 6,0 – 6,5. Selama proses likuifikasi, agregat pati akan direduksi menjadi molekul-molekul tunggal dan diikuti dengan pemecahan molekul menjadi dekstrin (Kerr, 1950).

Lebih lanjut Rahayu (1991), melaporkan bahwa hasil proses likuifikasi pati dengan DE 8 – 15. Nilai DE (*dextrose equivalent*) adalah nilai gula reduksi yang terbentuk dan dinyatakan dalam bentuk dekstrosa. Apabila hasil tersebut dikeringkan, maka akan diperoleh maltodekstrin dengan DE sebesar 10. Dalam industri makanan, maltodekstrin digunakan sebagai pengental dan pengering bahan yang bersifat higroskopis seperti ekstrak *yeast*.

Pati dalam bentuk aslinya tidak mempunyai kemampuan mereduksi larutan tertentu seperti iodin, kalium ferisida, dan alkali kuprisulfat. Aktivitas enzim glukoamilase pada pati dapat menghasilkan senyawa yang bersifat mereduksi. Apabila pemecahannya menghasilkan gula-gula sederhana, proses ini disebut sakarifikasi. Disamping mempunyai sifat dapat mereduksi, gula-gula tersebut juga dapat difermentasikan oleh yeast (Kerr, 1950). Enzim glukoamilase yang biasa digunakan untuk pembuatan sirup glukosa secara komersial adalah berasal dari *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, dan *Rhizopus oryzae* (Rahayu, 1991).

Efisiensi sakarifikasi dapat ditingkatkan dengan penambahan *debranching enzyme* seperti isoamilase atau pullulanase yang digunakan bersama dengan

gluamilase. *Debranching enzyme* ini mampu menghidrolisis ikatan cabang α - 1,6 glikosida dalam residu amilopektin, sehingga glukosa yang dihasilkan lebih banyak (Rahayu, 1991).

Refining dilakukan untuk menghilangkan bahan-bahan yang tidak dikehendaki sehingga produk menjadi lebih jernih. Menurut Rochani (1981), proses *refining* dapat dilakukan dengan pemucatan menggunakan karbon aktif. Proses penjernihan lain dapat pula dilakukan dengan cara memanaskan hasil sakarifikasi pada suhu 80 °C selama 20 menit, tetapi cara ini dapat menginaktifkan enzim (Kruger dan Lineback, 1987).

N. Faktor-Faktor yang Berpengaruh dalam Pembuatan Sirup Glukosa Secara Enzimatis

Menurut Suwanto (1984), pembuatan sirup glukosa secara enzimatis dipengaruhi oleh enzim. Adapun aktivitas enzim dipengaruhi oleh konsentrasi substrat, konsentrasi ezim, pH, suhu, adanya kofaktor dan inhibitor serta lama waktu hidrolisis.

Konsentrasi substrat merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap kecepatan reaksi. Lehninger (1978), menyatakan bahwa kenaikan konsentrasi enzim, sampai batas tertentu akan mengakibatkan kenaikan aktivitas enzim tetapi setelah mencapai konsentrasi tertentu, penambahan lebih lanjut tidak akan menaikkan kecepatan reaksi enzim. Gejala tersebut didefinisikan sebagai kinetika penjumlahan.

Konsentrasi enzim akan mempengaruhi kecepatan reaksi tetapi tidak akan mempengaruhi konstanta keseimbangan reaksi. Enzim akan mengubah jalan reaksi antara, tetapi tidak akan mempengaruhi tempat awal dan keseimbangan akhir dan produk (Dixon dan Webb, 1979).

Menurut Rahayu (1991), aktivitas enzim akan bervariasi secara linear dengan perubahan konsentrasi enzim. Hal ini dikuatkan oleh Dixon dan Webb (1979), bahwa laju reaksi akan meningkat dengan bertambahnya konsentrasi enzim.

Enzim sebagaimana protein lainnya akan mengalami denaturasi pada pH dan suhu yang ekstrim. Nilai pH dan suhu akan berpengaruh terhadap kecepatan reaksi, afinitas, dan saturasi enzim dengan substrat dan juga berpengaruh terhadap kestabilan enzim (Pitcher, 1980).

Suatu enzim hanya aktif sebagai katalis dalam kisaran pH yang terbatas dan biasanya mempunyai pH optimum yang sangat tegas maka apabila dibuat kurva aktivitas enzim lawan pH biasanya diperoleh bentuk lonceng (Soeharsono dan Rahayu, 1977).

O. Hipotesis

1. Sirup glukosa dengan kadar gula reduksi yang tinggi dapat dihasilkan dari konsentrasi enzim α – amilase 0,03 % terhadap berat jenis bahan
2. Sirup glukosa dengan kadar gula reduksi yang tinggi dapat dihasilkan dari variasi waktu hidrolisis 120 menit.